

3.6 凸透镜成像规律

与教材不同之处

更详细描述凸透镜成像的相关概念；更详细描述凸透镜成像的器材；更详细描述凸透镜成像的实验事实；更详细描述凸透镜成像的规律和口诀；更详细描述放大镜的原理和应用。

什么是实像与虚像

实像是指由实际光线会聚而形成的，可以呈现在光屏上。比如小孔成像。

虚像是指由反射光线或折射光线的反向延长线相交而形成的，不能呈现在光屏上，只能通过人眼可以看见。比如平面镜成像等。

凸透镜成像现象

相同的凸透镜，对着近处课本上的字观察时，看到的是正立放大的像；而对着远处的房屋观察时，看到的却是倒立缩小的像，如图 3-6-1 所示。

我们猜想，凸透镜成像的大小、像的正倒、像的虚实情况可能与物距有关。

什么是物距？

物距是指物体到凸透镜光心的距离，用字母 u 表示。



图 3-6-1

器材准备

探究凸透镜成像情况与物距的关系，我们将选择如下器材，如图 3-6-2 所示。

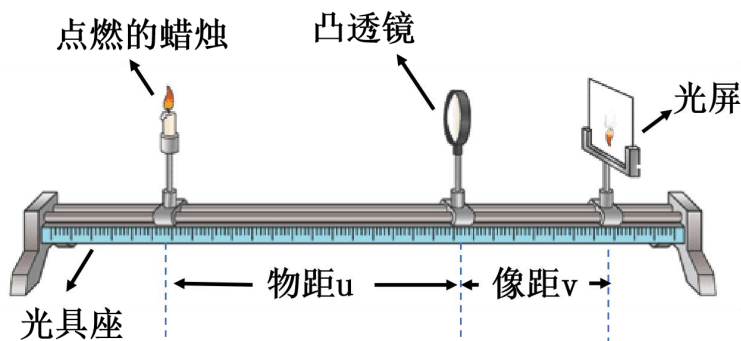


图 3-6-2

(1) 光具座：光具座一个平直的轨道，上面附有毫米标尺，在导轨面上有可移动的支架，支架可调高度，支架上可放置蜡烛、凸透镜、光屏。光具座的好处有两点：一是物距、像距的大小可以直接在标尺上测量出来；二是确保光源、凸透镜、光屏保持在同一直线上，如果没有光具座，则光源、凸透镜、光屏是否在同一直线上，还要进行仔细的调整，非常麻

烦。

什么是像距？

像距是指像与凸透镜光心的距离，用字母 v 表示。

（2）光屏：用来检验凸透镜成的像是否是实像。如果光屏上呈现的是清晰的有形状的光斑，便是实像。如果是模糊的，那只是光斑，并不是实像。

（3）光源：我们此次实验选择的光源是蜡烛。其实，如果条件允许，选择 LED 的 F 型光源更佳（如图 3-6-3 所示），因为 F 型光源相比蜡烛而言有这么几个优点：一是成像更稳定，不会像蜡烛的火焰会摆动；二是蜡烛使用一段时间后会变短，在光屏上成的像可能就会不在光屏中央上；三是 F 是一种不对称的字母，通过观察它的像，更能判断像与物的对比关系；四是 F 型光源大小是固定的，更容易判断像的大小变化。



图 3-6-3

（4）凸透镜：凸透镜的规格选择有一定的要求，在探究物距对凸透镜成像情况的影响的实验中，我们先选用焦距为 8cm 的凸透镜。

凸透镜的焦距最好在 8cm 至 20cm 之间。如果焦距太长，不但成的像可能变得不清晰，甚至可能使像距大于光具座的长度，那么光屏无论怎样移动，也无法在光屏上找到清晰的像。

实验探究凸透镜成像情况与物距的关系

我们将如何探究凸透镜成像情况与物距的关系？

1、实验前，点燃蜡烛后，把烛焰的中心、凸透镜的光心、光屏的中心调整到同一高度处，这样做的目的是使凸透镜成的像在光屏的中心上，如图 3—6-4 所示。

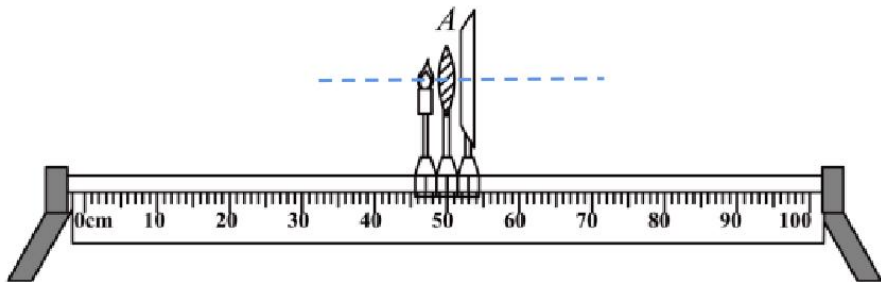


图 3-6-4

需要强调的是，在实验过程中，如果蜡烛燃烧的时间过长变短，像没有在中央，我们如何调整呢？

2、由于是探究物距对凸透镜成像情况的影响，所以，我们采用“由远及近”的方式来改变物距。

具体操作方法是：先把凸透镜放在中央，再点燃的蜡烛从远处向靠近凸透镜的方向移动，每次移动 2cm，每次确定好物距好，再来移动光屏，在移动光屏的过程中，观察光屏上的成像情况。通过光屏后，光屏上如果有了清晰的实像，则记录下此时的物距和像距。

物距由大变小的过程，光屏上看到的像的情况归纳起来共有 5 种，如图 3-6-5 所示，分别是：

- (1) 与物体相比，光屏上的像更小——缩小的实像；
- (2) 与物体相比，光屏上的像与物体是一样大的——等大的实像；
- (3) 与物体相比，光屏上的像更大——放大的实像；
- (4) 光屏上只有圆形光斑，没有像的形状——不成像；
- (5) 光屏上的光斑不是圆的，无论怎样移动，光斑不清晰——不成像。

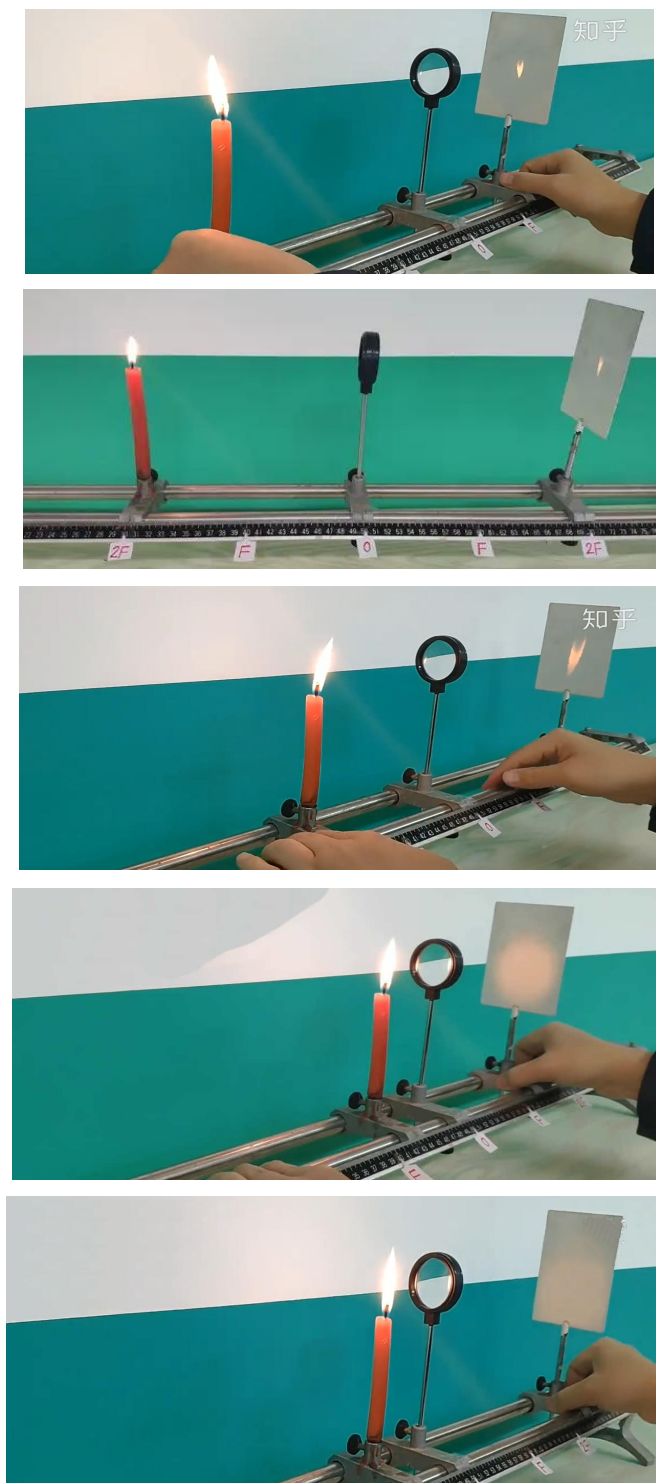


图 3-6-5

把每次成像情况时的物距，像距大小记录在表格中，并把每次成像情况也记录在表格中，

表格如下：

实验次数	物距 u/cm	像距 v/cm	像的大小
1	20.0	13.3	缩小
2	18.0	14.4	缩小
3	16.0	16.0	等大
4	14.0	18.7	放大
5	12.0	24.0	放大
6	10.0	40.0	放大
7	8.0	\	不成实像
8	6.0	\	不成实像
9	4.0	\	不成实像

通过对表格的数据分析，我们发现物距与焦距（ $f=8\text{cm}$ ）之间的数量关系不同时，成像情况也不相同。

我们总结的结论如下：

- （1）当物距大于二倍焦距时，像的特征是：缩小的，倒立的实像。
- （2）当物距等于二倍焦距时，像的特征是：等大的，倒立的实像。
- （3）当物距在一倍焦距和二倍焦距时，像的特征是：放大的，倒立的实像。
- （4）当物距等于一倍焦距时，不成实像，也不虚像。

我们是如何判断凸透镜不成虚像的呢？

我们判断凸透镜是否能成虚像，一是光屏不能呈现出像的形状；二是去掉光屏，眼睛位于光屏的位置，透过凸透镜观察蜡烛的火焰，如果能看到像，那便是虚像，如果只看到一整片光斑，那说明不是虚像。

当物距等于一倍焦距时，无论是光屏上，还是眼睛透过凸透镜直接观察，呈现的都只是光斑，这说明，当物距等于一倍焦距时，不成像。

- （5）当物距小于一倍焦距时，像的特征是：放大的，正立的虚像。

因为当物距小于一倍焦距时，光屏上只有光斑，此时不成实像，但当眼睛在光屏一侧透过凸透镜观察蜡烛的火焰时，我们看到的是清晰的放大的正立的像，如图 3-6-6 所示。

(6) 成实像时，当物距变小，像距会变大，像的大小也变大。



图 3-6-6

由实验次数 1、2、3、4、5、6 可知，成实像时，物距变小，像距变大，像的大小经过缩小——等大——放大阶段，这说明像的大小是在变大的。

需要强调的是：

(1) **变大与放大的区别**。变大是指像与像之间的比较，“现在的像”与“之前的像”的大小比较；放大是指像与物之间的比较，“现在的像”与“光源”之间大小的比较。

(2) **物距与像距之间的关系**。成实像时，我们发现当物距在两倍焦距之外，像距在一倍焦距和两倍焦距之间；当物距在一倍焦距和两倍焦距之间，则像距在两倍焦距之外；成实像时，物距与像距之和总是等于或大于四倍焦距。我们用一个表格来总结它们之间的关系。

成像情况	物距 u	像距 v	物距与像距的比较	像的大小
实像	$u > 2f$	$2f > v > f$	$u > v$	缩小
	$u = 2f$	$v = 2f$	$u = v$	等大
	$2f > u > f$	$v > 2f$	$u < v$	放大
虚像	$u < f$	\	$u < v$	放大

由表格中物距与像距的关系，我们发现：像距大于物距，无论是实像还是虚像，像都是放大的；像距等于物距，像是等大；像距小于物距，像是缩小的。

光路图分析凸透镜成像情况

为什么物距会影响凸透镜的成像情况呢？

我们现在用光路图来分析凸透镜成像情况。我们选择两条比较特殊的入射光线来分析，一条是经过光心的入射光线，这条光线经过凸透镜后折射光线的传播方向不变；一条是平行主光轴的入射光线，这条光线经过凸透镜后折射光线经过焦点。

（1）当物体在两倍焦距之外时，它的光路图如 3-6-7 所示。

由图可知，当物体在两倍焦距之外，像距在一倍焦距和两倍焦距之间，像的大小相比物体大小而言是缩小的，像也是倒立的，像也是由光线实际会聚而成的，属于实像。

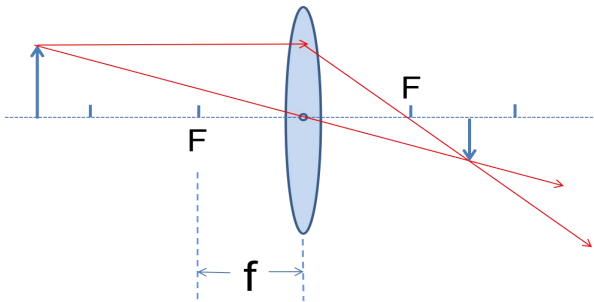


图 3-6-7

（2）当物体的位置正好在两倍焦距的位置时，它的光路图如 3-6-8 所示。

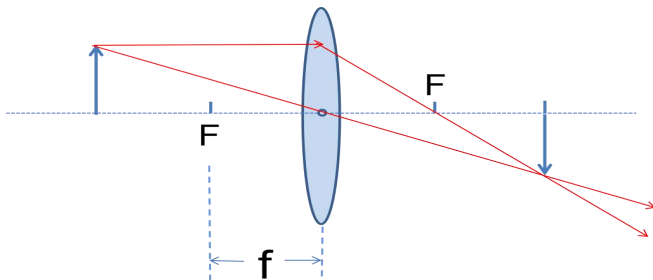


图 3-6-8

由图可知，当物体的位置正好在两倍焦距的位置时，像的位置也正好在两倍焦距的位置，利用全等三角形的关系可知，像的大小与物体的大小是相等的。此时像也是倒立的，像也是

由光线实际会聚而成的，属于实像。

（3）当物体在一倍焦距与两倍焦距之间时，它的光路图如 3-6-9 所示。

由图可知，当物体在一倍焦距与两倍焦距之间时，像距在两倍焦距之外，像的大小相

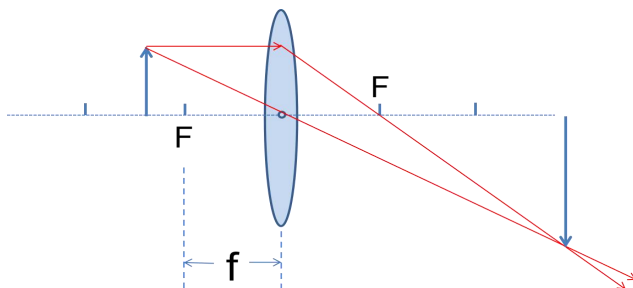


图 3-6-9

比物体大小而言是放大的，像也是倒立的，像也是由光线实际会聚而成的，属于实像。

（4）当物体刚好在一倍焦距的位置时，它的光路图如 3-6-10 所示。

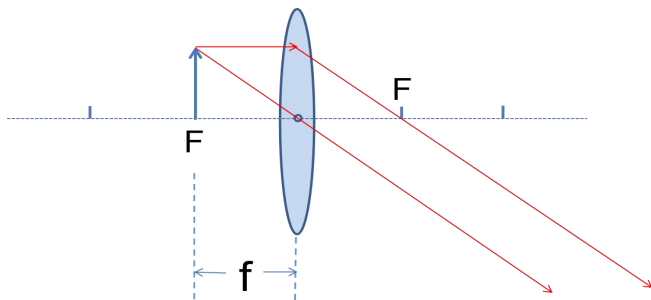


图 3-6-10

由图可知，当物体刚好在一倍焦距的位置时，两条折射光线是平行的，也就是说，平行光线不会会聚一点成像，反向延长线也不会相交一点，成虚像。因此，当物体刚好在一倍焦距的位置时，凸透镜是不能成像的。光屏上只有一个大小不变的光斑。

（5）当物体在一倍焦距以内时，它的光路图如 3-6-11 所示。

由图可知，当物体在一倍焦距以内时，两条折射光线也不会实际会聚，但它们的反向延长线会交于一点，成虚像。由图可知，虚像的大小永远都比物体在，即是放大的、正立的，虚像。

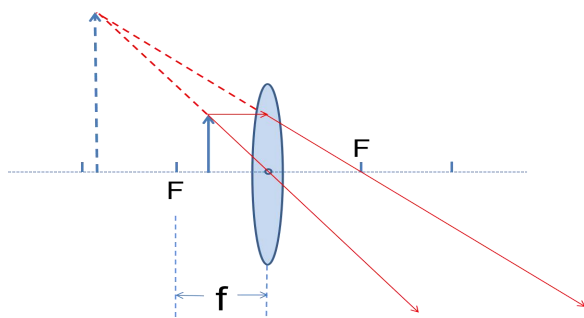


图 3-6-11

需要注意的是，

（1）凸透镜成虚像时，虽然我们在实验过程中无法测出像距的大小，但由光路图可知，在虚像时，像距比物距大，像的大小也是放大。

（2）凸透镜成虚像时，如果物距增大，像距也会增大，如图 3-6-12 所示。这与凸透镜成实像情况是相反的。也就是说，成虚像时，物体远离凸透镜，像距是变大的，像的大小也是变大的。

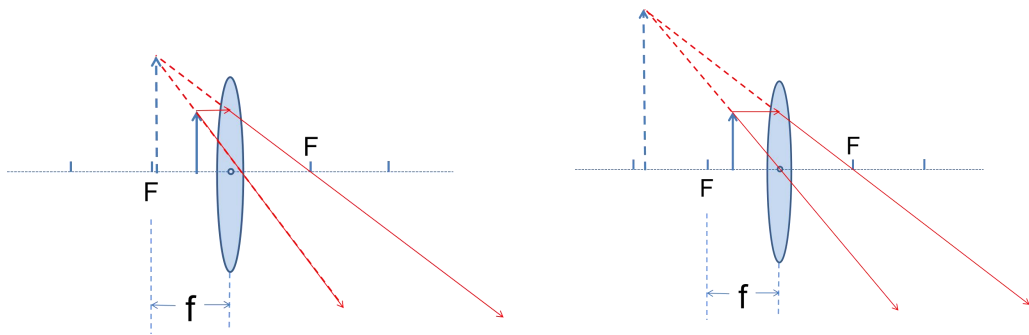


图 3-6-12

凸透镜成像规律的口诀

有了实验事实和光路图分析，我们将总结的规律再用口诀的方式来归纳一下，以便我们

记忆。

一倍焦距分虚实、二倍焦距分大小

当物距大于一倍焦距，凸透镜成实像；当物距小于一倍焦距，凸透镜成虚像。

当物距大于二倍焦距，凸透镜成的像一定是缩小的；当物距小于二倍焦距时，无论凸透镜成实像还是成虚像，像的大小一定是放大的。

物远像近实像小

这句话有三层含义：一是成实像时，当物距增大，像距就会变小，实像的大小也会变小，这是凸透镜成像过程的动态变化的描述；二是成实像时，当物距是远的，像距是近的，即物距大于像距时，实像的大小属于缩小情况，这是凸透镜成像过程中物体处于某个位置时的静态情况的描述；三是“远”指的是大于二倍焦距，“近”指的是在一倍焦距和二倍焦距之间。

物远像远虚像大

当成虚像时，物距增大，像距也会增大，虚像的大小不仅是放大的，也会变大。

放大镜

当我们用凸透镜观察近处课本上的字时，我们看到的正立、放大的字。根据凸透镜成像规律，我们可以判定出此时凸透镜成的像是虚像，物距是小于一倍焦距的（ $u < f$ ），这样的透镜我们称为放大镜。

生活中，我们鱼缸的侧面观察鱼缸内的鱼，鱼看起来总是变得很大，这是因为鱼缸和水相当于凸透镜，由于鱼此时一定在凸透镜的一倍焦距以内（ $u < f$ ），这时凸透镜起到了放大镜的作用，因此，我们看到了一个正立、放大的虚像的鱼，如图 3-6-12 所示。

对于放大镜，如果要将目标物体的虚像变得更大，我们的操作有两种：

- （1）将目标物体远离凸透镜。
- （2）换用更凸更厚的凸透镜来观察。



图 3-6-12

一个计算焦距范围的题目

例题：在一次探究凸透镜成像规律的实验过程中，测得物距为 16cm ，像距的大小是 38cm ，试分析此凸透镜的焦距范围是多少？

【分析】物距小于像距，成放大的像，则物距在 $2f > u > f$ 、像距在 $v > 2f$ 。

解：因为物距在 $2f > u > f$ ，则 $2f > 16\text{cm} > f$ ，得

(1) $2f > 16\text{cm}$ ，即 $f > 8\text{cm}$ ；

(2) $16\text{cm} > f$

因为像距在 $v > 2f$ ，则 $38\text{cm} > 2f$ ，得

(3) $19\text{cm} > f$

由 (1)、(2)、(3) 式得到焦距的范围为

$16\text{cm} > f > 8\text{cm}$

答：凸透镜的焦距范围在 8cm 和 16cm 之间。



本节我们学习的物理规律

1、什么是实像与虚像

实像是指由实际光线会聚而形成的，可以呈现在光屏上。比如小孔成像。虚像是指由反射光线或折射光线的反向延长线相交而形成的，不能呈现在光屏上，只能通过人眼可以看见。比如平面镜成像等。

2、什么是物距？什么是像距？

物距是指物体到凸透镜光心的距离，用字母 u 表示。像距是指像与凸透镜光心的距离，用字母 v 表示。

3、探究凸透镜成像规律前要做什么？

把烛焰的中心、凸透镜的光心、光屏的中心调整到同一高度处、同一直线上。

4、变大与放大的区别

变大是指像与像之间的比较，“现在的像”与“之前的像”的大小比较；放大是指像与物之间的比较，“现在的像”与“光源”之间大小的比较。

5、如何观察实像与虚像

观察实像：眼睛直接看光屏。

观察虚像：眼睛透过凸透镜观察物体。

6、凸透镜成像规律

- (1) 当物距大于二倍焦距时，像的特征是：缩小的，倒立的实像。
- (2) 当物距等于二倍焦距时，像的特征是：等大的，倒立的实像。
- (3) 当物距在一倍焦距和二倍焦距时，像的特征是：放大的，倒立的实像。
- (4) 当物距等于一倍焦距时，不成实像，也不虚像。
- (5) 当物距小于一倍焦距时，像的特征是：放大的，正立的虚像。
- (6) 成实像时，当物距变小，像距会变大，像的大小也变大。

7、凸透镜成像规律的口诀

一倍焦距分虚实；二倍焦距分大小；物远像近实像小；物远像远虚像大。

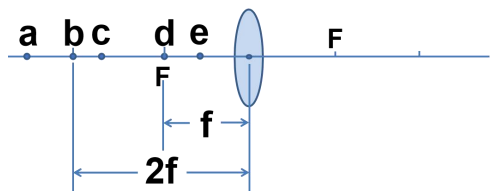


自我检测与巩固

1、老奶奶用放大镜看报时，为了看到更大的清晰的像，她常常这样做（ ）

- A. 报与放大镜不动，眼睛离报远些
- B. 报与眼睛不动，放大镜离报远一些
- C. 报与放大镜不动，眼睛离报近一些
- D. 报与眼睛不动，放大镜离报近一些

2、如图所示，保持凸透镜的位置不变，先后把烛焰放在 a、b、c、d、e 各点，并分别调整光屏的位置。则：



- (1) 把烛焰放在_____点，屏上出现的像最大；把烛焰放在_____点，屏上出现的像最小。
- (2) 把烛焰放在_____点，屏上出现清晰的像时，光屏距凸透镜最远。
- (3) 把烛焰放在_____点，屏上不会出现像。

3、在研究凸透镜成像的实验中：

(1) 用一束平行光正对凸透镜射入，经透镜后会聚于 A 点，测得 A 点距透镜 10 厘米，则透镜的焦距是_____厘米。

(2) 若烛焰放在距此透镜 8 厘米处，经透镜可得到一个_____像。

(3) 若烛焰放在此透镜前 12 厘米处，经透镜可得到一个_____像。

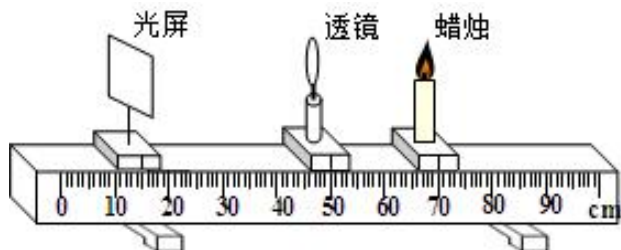
(4) 若烛焰放在此透镜前 25 厘米处，经透镜可得到一个_____像。（均填像的性质：倒正、放大缩小、虚实）

4、小明在探究“凸透镜成像规律”的实验中，当光屏、凸透镜和蜡烛在如图所示位置时，光屏的中央出现烛焰清晰的像，则下列说法正确的是（ ）

- A. 图中光屏上的像是倒立、缩小的实像
- B. 小明把爷爷的老花镜的镜片放在蜡烛和凸透镜之间，应将光屏向左移动才能出现清

晰的像

- C. 一只甲虫落在凸透镜的正中央，光屏上所成的像不完整
- D. 此凸透镜的焦距是 $10\text{cm} < f < 17.5\text{cm}$ 。



5、将点燃的蜡烛放在凸透镜前某处，在透镜另一侧光屏上观察到烛焰缩小的像，下列说法正确的是（ ）

- A. 保持蜡烛透镜不动，将光屏远离透镜，光屏能呈现清晰的像
- B. 保持蜡烛与光屏的位置不动，将透镜向光屏移动，光屏上能呈现清晰的像
- C. 光屏不动，将透镜靠近光屏，再将蜡烛适当靠近透镜，光屏也能呈现清晰的像
- D. 蜡烛不动，将透镜远离蜡烛，再将光屏适当远离透镜，光屏也能呈现清晰的像